

H-023

不透明物体を内包する透明物体の形状計測のためのシルエット分離抽出

Silhouettes Extraction from Image of Transparent Object Including Opaque Part

鈴木 悠輝†
Yuki Suzumoto

浦西 友樹†
Yuki Uranishi

眞鍋 佳嗣†
Yoshitsugu Manabe

千原 國宏†
Kunihiro Chihara

1. はじめに

透明物体は入射光が物体表面において鏡面反射し、さらに光が内部に透過するため、物体表面で光が拡散反射することを前提としたステレオ視やレーザーレンジファインダなどの手法では、物体の形状計測が困難である。

透明物体の形状計測に関する研究として、内部材質が不均一な透明物体の外部表面形状の計測手法[1]や、計測対象と同じ屈折率を持つ液体に計測対象を浸すことで透明物体の形状を計測する手法[2]、また背景パターンの屈折による変化を利用し、透明物体を視体積交差法[3]により計測する手法[4]が提案されている。しかし、いずれの手法も透明物体の表面形状のみを計測対象とし、内部構造は計測対象としていない。一方辻村らは、透明物体にパターン光を投影し、物体表面で起こる鏡面反射に加え、中空な透明物体の内部で起こる鏡面反射を観測することで、表面形状に加えて中空な透明物体の屈折率と厚みを推定する手法を提案している[5]。しかし、この手法も不透明物体を内包する、図1に示すような透明物体の形状計測は想定されていない。

そこで本研究では、従来手法では形状の計測が困難である不透明物体を内包する透明物体について、物体の外部表面と内部の不透明物体の両方の形状を非接触で計測することを目的とする。本発表においては、視体積交差法[3]を用いてこれらの形状を計測するために、不透明物体と透明物体のシルエットを分離抽出する手法について述べ、実験を行った結果を報告する。

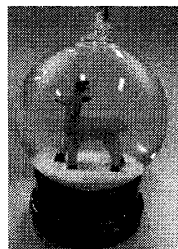


図1：計測対象の例

2. 提案手法

不透明物体を内包する透明物体において、不透明物体のシルエットと透明物体のシルエットを分離抽出する流れを図2に示す。本研究では、辻村らによる背景パターンにグレイコードを用いた透明物体のシルエット抽出手法[4]をもとに、不透明物体と透明物体のシルエットの分離抽出を試みる。対象物体の後ろから液晶ディスプレイでパターン画像を表示させ、パターン画像を背景にして対象物体をカメラで撮影する。 n ビットの空間コードを得るために、 n 枚のグレイコードパターンを用い、それぞれのパターンについて不透明物体候補領域 O_i と透明物体候補領域 T_i を求める。それぞれ n 枚ずつ得られた候補 O_i , T_i に対し、図2に示す処理により不透明物体のシルエット S_o と透明物体のシルエット S_t を得る。

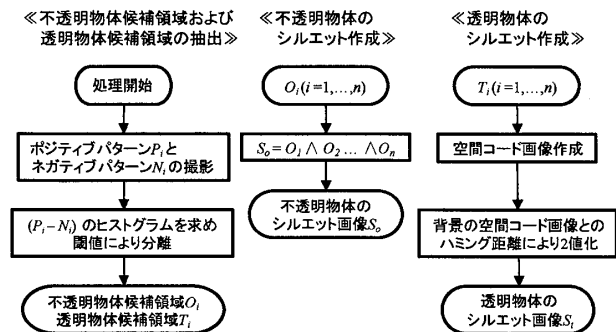
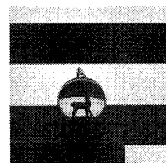


図2：シルエット分離抽出の流れ

2.1. 不透明領域候補および透明領域候補の抽出

あるグレイコードパターン P_i (ポジティブパターンとする) の白と黒を反転したパターンをネガティブパターン N_i とする。 P_i に対応する N_i の例を図3に示す。また、それぞれの画素 (x, y) において、図3(a)から(b)の輝度値を引いた値をプロットしたヒストグラムを図4に示す。なお、輝度値 $I(x, y)$ の範囲は $0 \leq I(x, y) \leq 255$ とする。



(a) ポジティブパターン P_i (b) ネガティブパターン N_i

図3：グレイコードパターンの投影の例

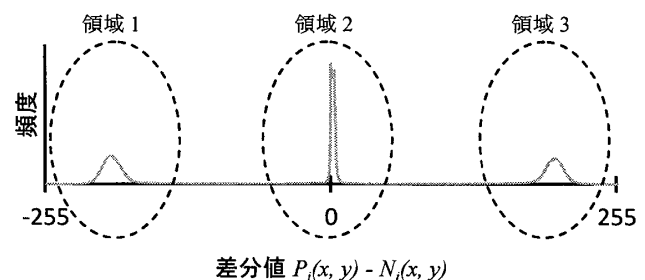


図4： $P_i(x, y) - N_i(x, y)$ のヒストグラム

パターン画像を背景にして対象物体を撮影すると、透明箇所においては背景パターンが透過して観測されるため、 $P_i(x, y)$ と $N_i(x, y)$ において輝度値が異なると考えられる。一方、不透明箇所は光を透過しないため、 $P_i(x, y)$ と $N_i(x, y)$ で輝度値は変わらないと考えられる。そのため、不透明物体候補領域は図4における領域2近辺に、透明物体候補領域は同図における領域1および領域3近辺に分布していると考えられる。そこで本手法では、差分値 $P_i(x, y) - N_i(x, y)$ に対し、閾値 t および $-t$ を用いて、不透明物体領域候補 O_i と透明物体領域候補 T_i を分離抽出する。

† 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2.2. 不透明物体のシルエット作成

先に述べたように不透明箇所においては、どのような背景パターンを用いても P_i と N_i で観測される輝度値が変わらないと考えられる。そこで、不透明候補領域上のノイズを除去するために、各グレイコードパターンで得られた不透明候補領域の論理積を計算し、不透明物体のシルエット S_o を作成する。

2.3. 透明物体のシルエット作成

n ビットのグレイコードパターンから空間コード画像を求め、それぞれの画素 (x, y) において背景の空間コード画像とのハミング距離 $d(x, y)$ を計算する。 $d > t_d$ ならその画素は透明物体のシルエットであるとし、透明物体のシルエット S_t を作成する。

3. 実験

本研究で構築した計測システムを図5に示す。このシステムでは、対象物体を回転台の上に乗せて回転させ、回転台の後ろに設置した液晶ディスプレイにパターン画像を表示し、位置を固定したカメラで撮影する。カメラの解像度は 4008×2672 pixels であり、その中央部分を切り出した 1024×1024 pixels の画像を用いる。表示するパターン画像は8ビットのグレイコードパターンである。パターン画像は水平方向と垂直方向の各8ビットのグレイコードパターン16枚と、この16枚のグレイコードパターンそれぞれに対するネガティブパターン16枚の計32枚を表示する。本実験では水平方向のグレイコードパターンから得られた不透明物体のシルエットと垂直方向のグレイコードパターンから得られた不透明物体のシルエットとの論理積を計算し、最終的な不透明物体のシルエットを作成した。一方、透明物体のシルエットは水平方向のグレイコードパターンから得られた透明物体のシルエットと垂直方向のグレイコードパターンから得られた透明物体のシルエットとの論理和を計算することで求めた。閾値 t , t_d はそれぞれ $t = 50$, $t_d = 1$ とした。回転台を0度から160度まで20度ずつ回転させ、 S_o と S_t それぞれを9枚作成した。カメラの内部パラメータは Zhang のカメラキャリブレーション手法[6]により求めた。回転台の中心を回転軸と仮定し、幾何形状が既知の物体をカメラで観測することでカメラの位置および姿勢のキャリブレーションを行った。図6に撮影した画像の例を示す。また、得られたシルエット S_o および S_t をそれぞれ図7および図8に示す。さらに、得られたシルエットを用い、視体積交差法により透明物体の表面形状と内部の不透明物体の形状を推定した結果を図9に示す。



図5：計測システムの構成

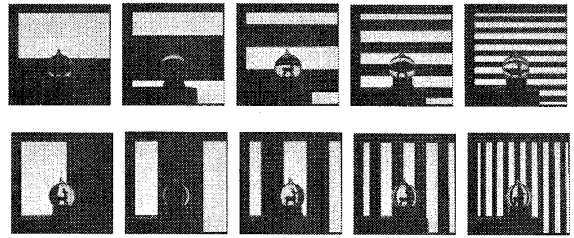
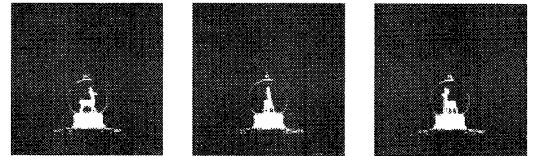
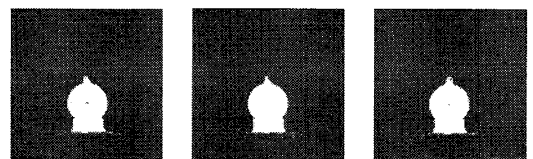


図6：撮影画像の例



(a) 0度のとき (b) 60度のとき (c) 120度のとき

図7：不透明物体のシルエット画像 S_o



(a) 0度のとき (b) 60度のとき (c) 120度のとき

図8：透明物体のシルエット画像 S_t



(a)不透明物体の形状 (b)透明物体の形状

図9：計測した形状の復元結果

4. まとめ

本稿では、不透明物体を内包する透明物体の内部形状と外部形状を計測するために、シルエットの分離抽出手法を提案し、実験を行った。今後は計測結果の評価を行い、物体の形状に加えて屈折率、透過率などの光学特性も計測することを検討している。

参考文献

- [1]N. Morris *et al.*, "Reconstructing the Surface of Inhomogeneous Transparent Scenes by Scatter-Trace Photography", *Proc. 11th Int. Conf. Computer Vision (ICCV2007)*, 2007.
- [2]B. Trifonov *et al.*, "Tomographic Reconstruction of Transparent Objects", *Eurographics Symposium on Rendering (EGSR2006)*, pp.51-60, 2006.
- [3]A. Laurentini, "The Visual Hull Concept for Silhouette-Based Image Understanding", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.16, No.2, pp.150-162, 1994.
- [4]辻田ら, "背景パターンの変化を利用した透明物体の形状と屈折率の計測", 第46回自動制御連合講演会講演論文集, FA2-08-4, pp.771-772, 2003.
- [5]辻村ら, "スリットパターンの映り込みを利用した透明物体の全周形状計測", 平成19年度情報処理学会 関西支部支部大会 講演論文集, pp.39-40, 2007.
- [6]Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22, No.11, pp.1330-1334, 2000.